

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

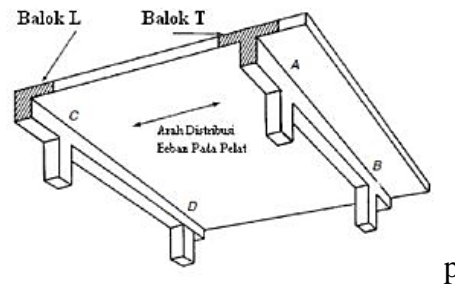
Beton merupakan suatu komposit dari beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Beton dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah pasta semen. Campuran semen serta air dapat dikatakan pasta sebab campuran tersebut dapat mengikat pasir dan bahan-bahan agregat lain, rongga diantara bahan-bahan kasar diisi oleh bahan-bahan halus. Serta ada perbandingan optimal antara agregat campuran yang bentuknya berbeda-beda agar pembentukan beton dapat dimanfaatkan oleh seluruh material. Bahan kimia tambahan yang ditambahkan ke dalam beton bertujuan memperbaiki sifat beton yang dihasilkan, yakni antara lain untuk meningkatkan *workability*, *durability*, serta waktu pengerasan beton.

Seiring dengan bertambahnya waktu bahan yang tercampur akan menjadi keras seperti batuan, dan memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah. Beton bertulang didefinisikan berupa kombinasi antara beton serta tulangan baja yang bekerja secara bersama sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Selain itu tulangan baja juga mampu memikul beban tekan.

2.1.1 Elemen Struktur Beton Bertulang

Supaya suatu bangunan struktur beton bertulang sanggup berfungsi sesuai yang diharapkan, maka dalam perencanaan struktur wajib mendesain elemen-elemen strukturnya dengan benar dan tepat. Pada suatu struktur beton bertulang ada beberapa jenis elemen yang digunakan, yaitu:

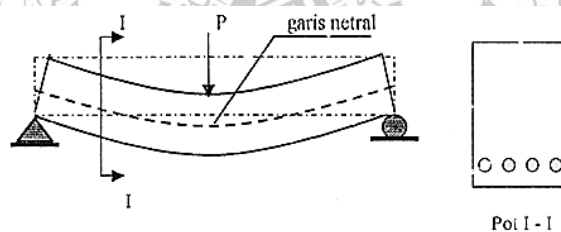
- a. Balok, berfungsi untuk menyalurkan beban dari plat. Pada umumnya balok dicetak secara monolit dengan plat lantai, sehingga akan membentuk balok penampang T pada balok interior dan balok penampang L pada balok-balok tepi.



Gambar 2.1 Balok T dan L

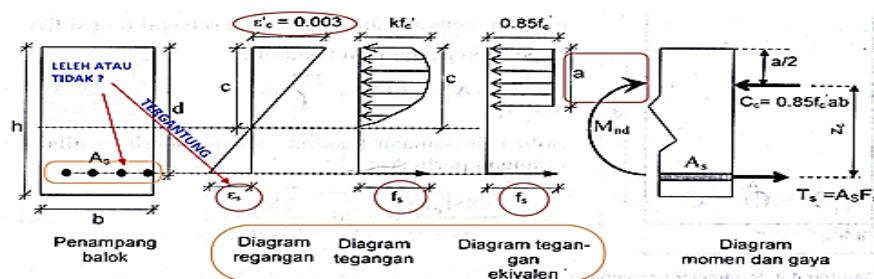
Pada suatu balok beton bertulang, gaya tarik yang timbul sebagai akibat dari momen lentur ditahan oleh tulangan baja, sedangkan beton sendiri bekerja menahan gaya tekan yang timbul. Perilaku tersebut dapat terjadi dengan anggapan bahwa antara tulangan baja dan beton terdapat lekatan yang baik untuk mencegah terjadinya slip antara tulangan baja dan beton. Maka untuk mendapatkan lekatan yang baik digunakan tulangan baja ulir.

Sebagai gambaran fungsi beton dan tulangan baja diperlihatkan pada gambar 2.2 yaitu balok sederhana di atas dua tumpuan.



Gambar 2.2 Balok Menerus

Dari gambar diatas terlihat bahwa akibat beban P yang bekerja di atas balok tersebut maka balok mengalami lentur sehingga bagian atas dari garis netral penampang mengalami tekan dan bagian bawah garis netral penampang mengalami tarik.



Gambar 2.3 Diagram Tegangan Regangan Balok Beton Bertulang

Retak-retak rambut arah melintang di daerah tarik di dekat tulangan baja tarik dalam batas-batas tertentu masih diperbolehkan. Hal ini diakibatkan karena beton tidak kuat menahan tarik. Selama beban tarik yang terjadi masih dibawah lebar retak yang diijinkan maka retak tersebut tidak mempengaruhi kekuatan struktur.

Dalam SNI 2847:2013 Pasal 9.3 digunakan beberapa nilai faktor reduksi kekuatan, ϕ , sebagai berikut:

Untuk penampang terkendali Tarik $\phi = 0.90$

Untuk penampang terkendali tekan

- a. Dengan tulangan spiral $\phi = 0.75$
- b. Tulangan non-spiral $\phi = 0.65$

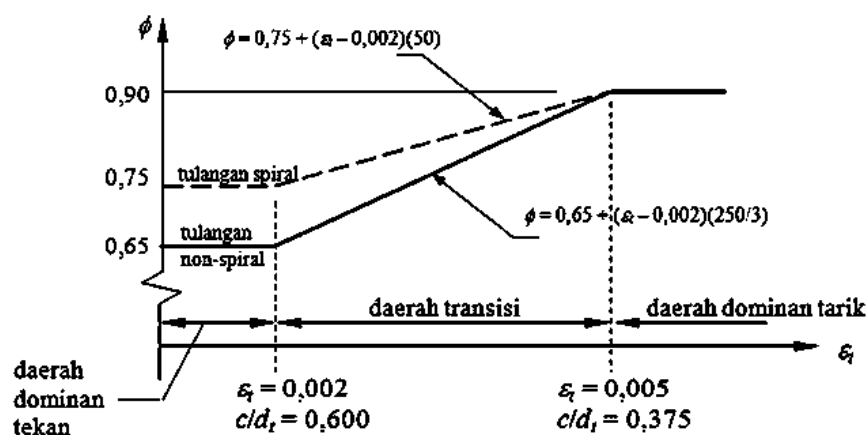
Untuk geser dan puntir $\phi = 0.75$

Untuk tumpu pada beton $\phi = 0.65$

Untuk penampang pada daerah transisi, nilai ϕ ditentukan dengan menggunakan interpolasi linear antara 0,65 (atau 0,70) dan 0,9. Gambar 2.16 menunjukan variasi nilai ϕ untuk tulangan baja $f_y = 400$ MPa, sedangkan persamaan garis pada daerah transisi tersebut adalah sebagai berikut:

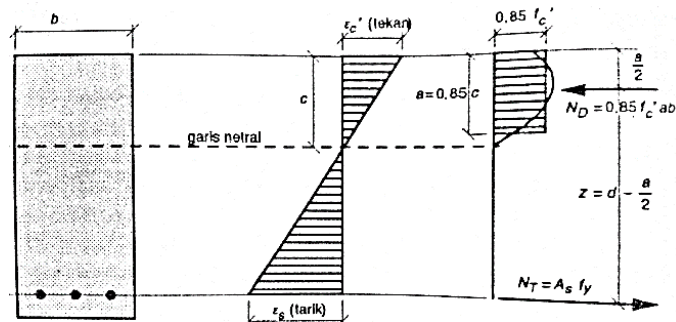
$$\phi = 0,75 + (\epsilon_t - 0,002)(50) \quad (\text{untuk tulangan spiral})$$

$$\phi = 0,65 + (\epsilon_t - 0,002)\left(\frac{250}{3}\right) \quad (\text{untuk tulangan non - spiral})$$



Gambar 2.4 Faktor Reduksi Kekuatan

Adapun tulangan persegi bertulangan tunggal,



Gambar 2.5 Penampang Persegi Pada Kondisi Seimbang

Dari diagram regangan diatas maka dengan menggunakan perbandingan akan diperoleh hubungan berikut:

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}}$$

atau jika E_s diambil sebesar 200.000 Mpa, maka:

$$c_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d$$

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan kesetimbangan gaya, maka dapat dituliskan:

$$C = T$$

$$0.85 f_c' a_b b = A_{sb} f_y$$

Atau jika dituliskan untuk nilai a_b ;

$$a_b = \frac{A_{sb} \times f_y}{0.85 f_c' b}$$

Persentase tulangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan kondisi seimbang disebut sebagai rasio tulangan seimbang, ρ_b . Nilai ρ_b sama dengan luas tulangan baja dibagi dengan luas penampang efektif:

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b \times d}$$

Dengan:

b = lebar penampang yang tertekan

d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan baja tarik

Persamaan diatas disubstitusikan, maka:

$$0.85f'_c a_b b = f_y \rho_b b d$$

atau

$$\rho_b = 0.85 \times \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Secara umum, momen nominal dari suatu balok persegi bertulangan tunggal dihitung dengan mengalikan nilai C atau T .

$$M_n = 0.85f'_c a_b b \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

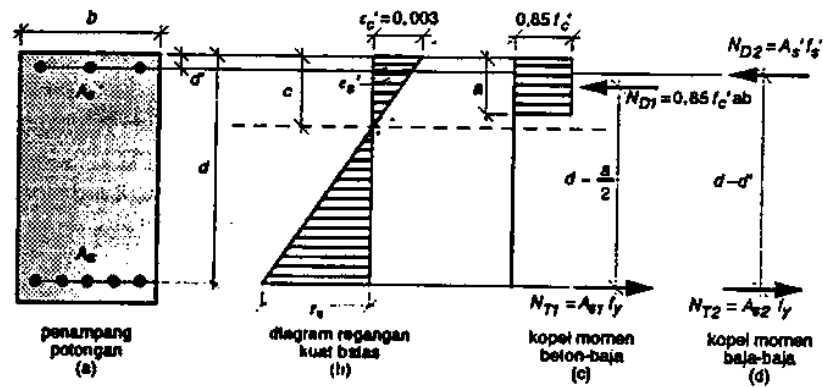
Untuk mendapatkan besarnya kuat rencana, ϕM_n , maka kuat momen nominal, ϕM_n , harus direduksi dengan cara dikalikan dengan faktor reduksi ϕ :

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = \phi A_s f_y \left(d - \frac{A_s \times f_y}{1.7 f'_c \times b} \right)$$

Regangan penampang pada kondisi seimbang diperoleh persamaan:

$$c = \frac{\rho_b \times f_y d}{0.85 f'_c \beta_1}$$

Dan penampang persegi bertulangan rangkap yaitu suatu penampang balok beton bertulang didesain memiliki tulangan untuk tarik dan tulangan untuk tekan. Penggunaan tulangan tekan sering dijumpai pada daerah momen negatif dari sebuah balok menerus atau di tengah bentang dari suatu balok yang cukup panjang dan memikul beban yang berat serta memiliki persyaratan kontrol lendutan cukup ketat. Atau juga sering dijumpai pada kasus dimana tinggi balok sangat dibatasi untuk mengakomodasi kebutuhan arsitektural.



Gambar 2.6 Analisa Balok Bertulangan Rangkap

Namun dengan demikian ada empat keuntungan yang diperoleh dengan menambahkan tulangan tekan pada penampang sebuah balok beton bertulang, yaitu:

1. Mengurangi lendutan jangka panjang.
2. Meningkatkan daktilitas.
3. Menghasilkan kebutuhan tarik pada struktur.
4. Memudahkan dalam fabrikasi.

Ketika tulangan tekan sudah luluh maka momen M_{u1} merupakan momen yang diperoleh dari balok bertulangan tunggal sebagai berikut:

$$T_1 = C_c$$

$$A_{s1} f_y = 0,85 f_c' ab$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$M_{u1} = \phi A_{s1} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Syarat batasan tulangan untuk A_{s1} , adalah bahwa harus dipenuhi $\rho_1 (= A_{s1} / bd) < \rho_{maks}$ untuk penampang terkendali tarik dari balok bertulangan tunggal. selanjutnya M_{u2} dapat dihitung dengan mengasumsikan tulangan tekan, $A_{s'}$ sudah luluh:

$$M_{u2} = \phi A_{s2} f_y (d - d') = \phi A_s' f_y (d - d')$$

Dalam hal ini $A_{s2} = A_s'$, menghasilkan gaya yang sama besar namun berlawanan arah seperti ditunjukkan pada gambar 2.6. dan akhirnya momen nominal total dari suatu balok bertulangan rangkap diperoleh dengan menjumlahkan M_{u1} dan M_{u2} :

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \left[(A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right]$$

Luas total tulangan baja tarik digunakan adalah jumlah dari A_{s1} dan A_{s2} , sehingga:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = A_{s1} + A_s'$$

atau

$$A_{s1} = A_s - A_s'$$

Serta didapatkan syarat batas maksimum rasio tulangan:

$$(\rho - \rho') < \rho_{maks} = \rho_b \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right)$$

Dalam analisis yang sudah dilakukan, digunakan asumsi bahwa tulangan tekan sudah luluh. Dari gambar 2.6, apabila tulangan tekan sudah luluh maka dipenuhi:

$$\epsilon_s' \geq \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Dari kesamaan segitiga di atas sumbu netral, serta dengan menggunakan $E_s = 200.000$ Mpa, maka:

$$\frac{c}{d'} = \frac{0,003}{0,003 - \frac{f_y}{E_s}} = \frac{600}{600 - f_y} \text{ atau } c = \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) d'$$

syarat pemeriksaan apakah tulangan tekan sudah luluh atau belum, yaitu:

$$(\rho - \rho') \geq 0,85 \beta_1 \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \left(\frac{d'}{d} \right) \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) = K$$

Pada saat tulangan belum luluh dengan memperhitungkan luas beton yang ditempati oleh tulangan baja, maka dapat dituliskan rumusan untuk besarnya gaya tekan pada tulangan, C_s , dan gaya tekan pada beton, C_c , sebagai berikut:

$$C_s = A_s'(f_s' - 0,85f_c') = A_s' \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85f_c' \right]$$

$$C_c = 0,85f_c'\beta_1cb$$

Karena $T = A_s f_y = C_s + C_c$, maka:

$$A_s f_y = 0,85f_c'\beta_1cb + A_s' \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85f_c' \right]$$

Apabila diturunkan kembali, maka persamaan di atas dapat dituliskan dalam bentuk:

$$(0,85f_c'\beta_1b)c^2 + \left[(600A_s') - (0,85f_c'A_s') - A_s f_y \right]c - 600A_s'd' = 0$$

Dengan diketahuinya c , f_c' , a , C_c , dan C_s dapat dihitung, demikian pula dengan kuat momen rencana penampang:

$$\phi M_n = \phi \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

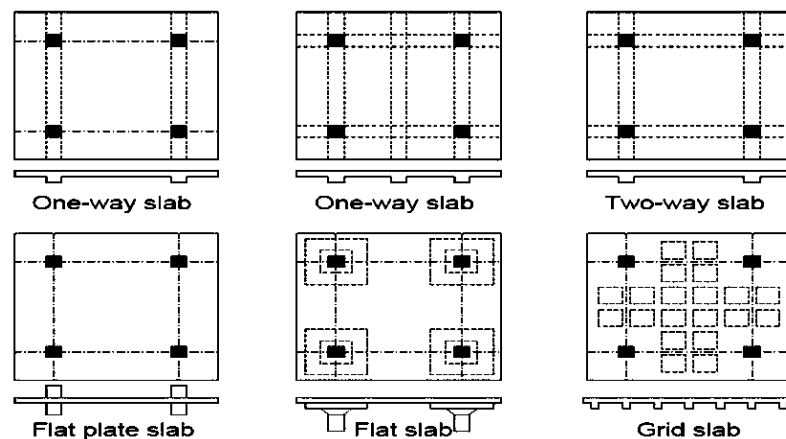
Bila tulangan tekan belum luluh, $f_s' < f_y$, maka luas ntotal tulangan tarik yang dibutuhkan untuk suatu penampang persegi adalah:

$$\text{Maks } A_s = \rho_{maks} bd + A_s' \frac{f_s'}{f_y} = bd \left(\rho_{maks} + \frac{\rho' f_s'}{f_y} \right)$$

Atau jika dinyatakan dalam rasio tulangan, dapat dibagi dengan bd :

$$\text{Maks } \rho = \text{Maks } A_s / bd \leq \rho_{maks} + \frac{\rho' f_s'}{f_y}, \text{ atau } \left(\rho - \rho' \frac{f_s'}{f_y} \right) < \rho_{maks}$$

- b. Plat lantai, suatu elemen horisontal utama yang berfungsi untuk menyalurkan beban hidup, baik yang bergerak maupun statis ke elemen pemikul beban vertikal, yaitu balok, kolom, maupun dinding.



Gambar 2.7 Jenis-jenis pelat

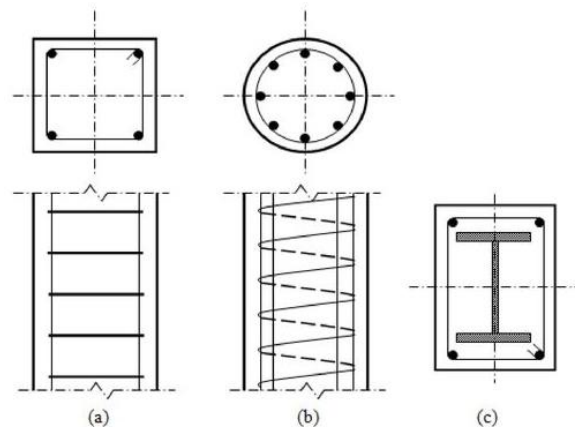
Disebut pelat satu arah jika sistem pelat hanya ditumpu di kedua sisinya, maka pelat tersebut akan melentur atau mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan. Beban akan didistribusikan oleh pelat dalam satu arah saja yaitu arah tumpuan. Apabila pelat tertumpu di keempat sisinya, dan rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar atau sama dengan 2, maka hampir 95% beban akan dilimpahkan dalam arah bentang pendek, dan pelat akan menjadi sistem pelat satu arah. Sedangkan yang mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2 maka akan menjadi pelat dua arah.

Tabel 2.1 Momen Pelat Penulangan Dua Arah Metode Amplop

Skema	Penyaluran beban berdasarkan 'metode amplop' kali w_u tatan l_x	$\frac{l_y}{l_x}$	$\frac{l_y}{l_x}$								
			1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	
I		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	41	54	67	79	87	97	110	117
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	41	54	31	28	26	25	24	23
II		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	25	34	42	49	53	58	62	65
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	25	22	18	15	15	15	14	14
III		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	51	63	72	78	81	82	83	83
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	51	54	55	54	54	53	51	49
IV		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	30	41	52	61	67	72	80	83
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	30	27	23	22	20	19	19	19
V		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	68	84	97	106	113	117	122	124
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	68	74	77	77	77	76	73	71
VI		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	24	36	49	63	74	85	103	113
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	33	33	32	29	27	24	21	20
VII		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	69	85	97	105	110	112	112	112
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	33	40	47	52	55	58	62	65
VIII		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	24	20	18	17	17	17	16	16
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	69	76	80	82	83	83	83	83
IX		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	31	45	58	71	81	91	106	115
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	39	37	34	30	27	25	24	23
X		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	91	102	108	111	113	114	114	114
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	39	47	57	64	70	75	81	84
XI		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	31	25	23	21	20	19	19	19
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	91	98	107	113	118	120	124	124
XII		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	25	36	47	57	64	70	79	83
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	28	27	23	20	18	17	16	16
XIII		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	54	72	88	100	108	114	121	124
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	60	69	74	76	76	76	73	71
XIV		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	28	37	45	50	54	58	62	65
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	25	21	19	18	17	17	16	16
XV		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	60	70	76	80	82	83	83	83
		$m_{lx} = 0,001$ $m_{ly} = 0,001$ $m_{lx} = \frac{1}{2} m_{ly}$	$w_u l_x^2 x$	54	55	55	54	53	53	51	49

— = terletak bebas
 — = menerus pada tumpuan

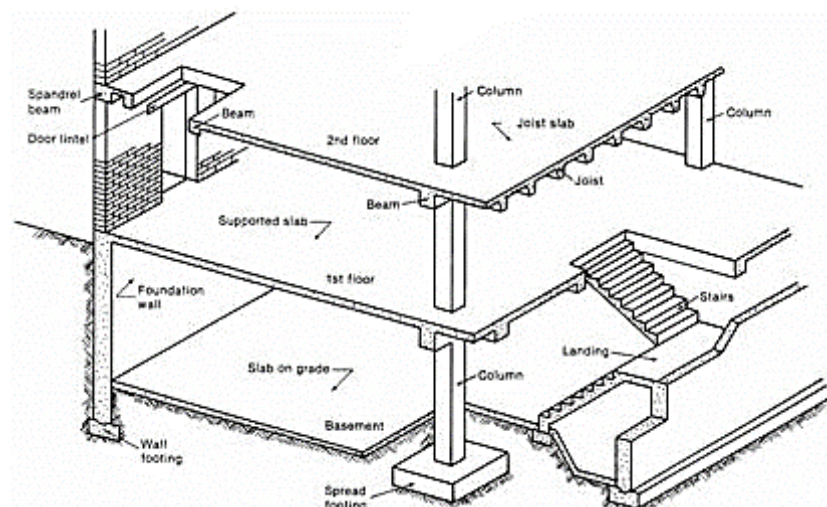
- c. Kolom, elemen penting yang memikul beban dari balok dan plat. Selain beban gravitasi, kolom juga dapat direncanakan sebagai pemikul beban lateral yang berasal dari beban gempa atau beban angin.



Gambar 2.8 (a) Kolom persegi dengan sengkang persegi; (b)

Kolom bundar dengan sengkang spiral; (c) Kolom komposit

- d. Rangka, gabungan antara elemen balok dan rangka akan membentuk suatu sistem struktur rangka. Sistem struktur rangka merupakan struktur statis tertentu maupun statis tak tertentu.
- e. Dinding, merupakan elemen pelat vertikal yang mampu menahan beban gravitasi maupun beban lateral seperti *basement*, atau mampu direncanakan memikul beban lateral gempa bumi yang dikenal dengan dinding geser.
- f. Pondasi, elemen pemikul beban dari kolom kemudian menyalurkannya ke lapisan tanah keras. Pondasi beton bertulang dapat berupa pondasi pelat setempat ataupun pondasi lajur.



Gambar 2.9 Elemen struktur beton bertulang. (Sumber: wight & MacGregor, Reinforced Concrete Mechanics & Design, 6th ed., 2009.)

2.2 Beban

Beban merupakan gaya luar yang bekerja pada suatu struktur. Besar beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku. Adapun beberapa beban yang sering dijumpai antara lain :

- a. Beban mati, beban gravitasi yang berasal dari berat keseluruhan koomponen gedung atau bangunan yang bersifat permanen selama masa layan struktur tersebut.
- b. Beban hidup, jenis beban yang timbul akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung selama masa layan gedung tersebut. Dapat berupa beban manusia, maupun barang atau benda lain yang letaknya tidak permanen.
- c. Beban angin, beban yang timbul akibat adanya tekanan dari gerakan angin, beban ditentukan dari lokasi serta ketinggian bangunan tersebut.
- d. Beban gempa, beban dalam arah horisontal dari struktur yang ditimbulkan oleh adanya gerakan tanah akibat gempa bumi, baik dalam arah vertikal maupun horisontal.

2.3 Analisa Beban Gempa pada Bangunan Gedung

Untuk menahan gerak tanah yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, kapasitas yang cukup, maka struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal sesuai dengan kekuatan yang disyaratkan. Adapun langkah-langkah analisis beban gempa menurut SNI Gempa 1726:2012 untuk bangunan gedung.

2.3.1 Kategori Resiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan (Ie)

Pada tabel berikut akan menguraikan kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung.

Tabel 2.2 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah Toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat pebelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat 	III

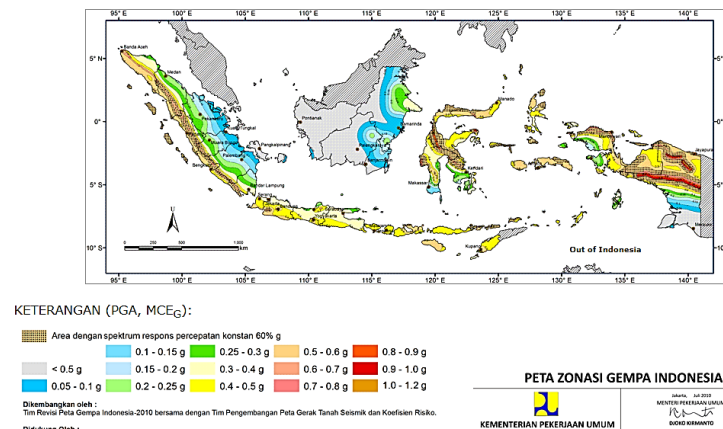
Lanjutan Tabel 2.2 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari hari bila kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahanya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjuk sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat 	IV

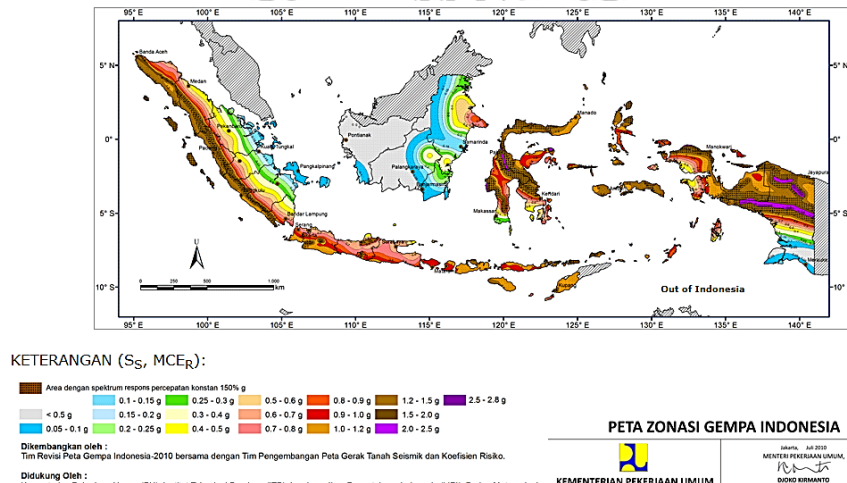
Tabel 2.3 Faktor keutamaan gempa (I_e)

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

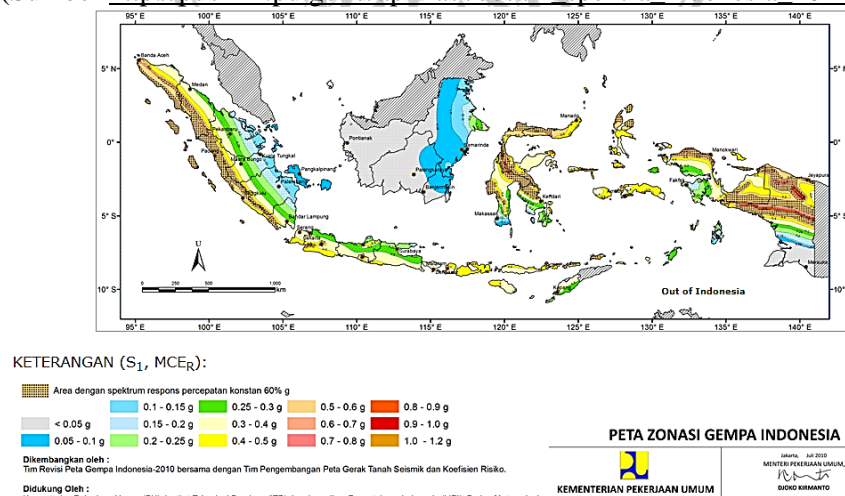
2.3.2 Parameter Percepatan Gempa (S_s S_1)



Gambar 2.10 Peta percepatan puncak batuan dasar (PGA) 2% dalam 50 tahun.
(Sumber http://puskim.pu.go.id/aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)



Gambar 2.11 Peta percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) 2% dalam 50 tahun.
(Sumber http://puskim.pu.go.id/aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)



Gambar 2.12 Peta percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) 2% dalam 50 tahun.
(Sumber http://puskim.pu.go.id/aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)

Peta gempa percepatan batuan dasar diunjukkan dalam Gambar 2.10. Sedangkan pada gambar 2.11 dan 2.12 menunjukkan peta untuk S_s dan S_1 yang secara keseluruhan untuk probabilitas dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun. Respon spektrum rencana dalam perhitungan beban gempa dibuat berdasarkan peta percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dan peta percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1).

Dalam menentukan nilai spektral percepatan S_s dan S_1 menggunakan bantuan aplikasi Desain Spektra Indonesia (puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)

- Koordinat garis lintang dan garis bujur @*HOM Hotel* menggunakan data dari *google maps*.



Gambar 2.13 Koordinat Garis Lintang dan Garis Bujur @*HOM Hotel*

- Memasukkan data koordinat garis lintang dan garis bujur tersebut ke dalam kolom pengisian koordinat.

Desain Spektra Indonesia

Jenis Input: **Koordinat**

Lintang:

Bujur:

KETERANGAN (S_s , MCE_R):

Area dengan spektrum response percepatan konstan 150% g	0.1 - 0.15 g	0.25 - 0.3 g	0.5 - 0.6 g	0.8 - 1.0 g
< 0.5 g	0.15 - 0.2 g	0.3 - 0.4 g	0.6 - 0.7 g	0.9 - 1.0 g
0.05 - 0.1 g	0.2 - 0.25 g	0.4 - 0.5 g	0.7 - 0.8 g	1.0 - 1.5 g

Gambar 2.14 Input Data Koordinat Garis Lintang & Garis Bujur @*HOM Hotel*

2.3.3 Kelas Situs dan Koefisien Situs

Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, dilakukan berdasarkan hasil pengujian kecepatan rata-rata gelombang geser, tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata, dan nilai kuat geser niniralir rata-rata yang ditelah ditetapkan sesuai sesuai SNI 03-1726-2012 pasal 5.3 tabel 3. Penentuan respon spektral percepatan gempa perioda pendek dan perioda 1 detik ebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Tabel 2.4 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Tabel 2.5 Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Perhitungan percepatan spektral desain perioda pendek S_{DS} dan perioda 1 detik S_{D1} sesuai SNI 03-1726-2012 pasal 6.3

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

2.3.4 Kategori Desain Seismik

Dengan menggunakan hasil S_{DS} dan S_{D1} maka kategori desain seismic dapat ditentukan dari tabel berikut:

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

2.3.5 Perioda Fundamental

Menentukan persamaan perioda fundamental (T_a) dalam detik.

$$T_a = C_t h_n^x$$

Menentukan periode fundamental berdasarkan perhitungan di bawah ini.

Dimana nilai C_u , C_t , dan x diambil dari table 4.16 dan table 4.17 sebagai berikut:

Tabel 2.8 Koefisien C_u

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 2.9 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

2.3.6 Geser Dasar Seismik

Persamaan geser dasar seismik ditentukan sebagai berikut:

$$V = C_s W$$

Nilai koefisien respons seismik,

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

tidak melebihi,

Serta nilai C_s harus tidak kurang dari, $C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$

Nilai R , C_d , dan Ω_0 ditentukan berdasarkan Tabel 4.18 sesuai dengan jenis sistem struktur gedung yang digunakan. Gedung dengan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus dan dinding geser beton bertulang khusus mempunyai

Tabel 2.10 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggistruktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
A. Sistem dinding penumpu	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	4	2½	4	TB	TB	12 ^k	12 ^k	12 ^k
6. Dinding geser pracetak biasa	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2½	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1½	TB	48	TI	TI	TI

Lanjutan Tabel 2.10 Faktor R, Cd dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
10.Dinding geser batu bata polos didetail	2	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
11.Dinding geser batu bata polos biasa	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
12.Dinding geser batu bata prategang	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
13.Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2%	2	TB	10	TI	TI	TI
14.Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
15.Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6%	3	4	TB	TB	20	20	20
16.Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6%	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2%	2	TB	TB	10	TI	TI
18.Sistem dinding rangka ringan (baja canal dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3%	TB	TB	20	20	20
B.Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3%	2	3%	TB	TB	10 ^f	10 ^f	TI ^f
4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2%	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2%	4%	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail	2	2%	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	5	2%	4%	TB	TB	12 ^g	12 ^g	12 ^g
9. Dinding geser pracetak biasa	4	2%	4	TB	TI	TI	TI	TI
10.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4%	TB	TB	48	48	30
12.Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13.Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6%	2%	5%	TB	TB	48	48	30
14.Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2%	5	TB	TB	48	48	30
15.Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2%	4%	TB	TB	TI	TI	TI
16.Dinding geser batu bata bertulang khusus	5%	2%	4	TB	TB	48	48	30
17.Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2%	4	TB	TB	TI	TI	TI
18.Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2%	2	TB	48	TI	TI	TI
19.Dinding geser batu bata polos didetail	2	2%	2	TB	TI	TI	TI	TI
20.Dinding geser batu bata polos biasa	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
21.Dinding geser batu bata prategang	1%	2%	1%	TB	TI	TI	TI	TI
22.Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22
23.Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22

Lanjutan Tabel 2.10 Faktor R, Cd dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^*	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^*	Faktor pembesaran defleksi, C_d^*	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24.Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26.Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C.Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^h	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10.Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11.Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3 ^a	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10.Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11.Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13.Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB
E.Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempayang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^f	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI ^h
2. Dinding geser beton bertulang khusus	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30

Lanjutan Tabel 2.10 Faktor R, Cd dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan betonkomposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem Interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1½	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1½	1½	1½	10	10	TI	TI ^h	TI ^h
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	2½	1½	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1½	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1½	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

2.3.7 Distribusi Gaya Gempa

Pada setiap tingkat akan menimbulkan gaya gempa lateral (F_x) yang ditentukan persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V$$

Nilai faktor distribusi vertikal,

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Sedangkan nilai k untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, k=1. Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau

lebih, $k=1$. Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 detik dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Pada perencanaan ini digunakan sistem ganda dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa, maka digunakan perbandingan 30% untuk sistem rangka dan 70% untuk *shearwall*. Gaya gempa lateral (F_x) kemudian didistribusikan ke tiap-tiap portal dengan membagi gaya tersebut terhadap jumlah portal yang ada. Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Berdasarkan SNI:1726-2012 Pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus :

$$\Delta_i \leq \Delta_a$$

Dimana :

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan ijin antar lantai

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 1 :

$$\Delta_1 = \frac{C_d \times \delta_{e1}}{I_e}$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkat 2 :

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) \times \frac{C_d}{I_e}$$

Dimana :

δ_{e1} = Simpangan yang terjadi akibat beban gempa di tingkat 1

δ_{e2} = Simpangan yang terjadi akibat beban gempa di tingkat 2

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I_e = Faktor keutamaan gedung

Di dalam SNI:1726-2012 untuk sistem struktur yang lain simpangan antar tingkat ijinnya adalah :

$$\Delta_a = 0,020 \times h_{sx}$$

Dimana :

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

- Batasan drift-ratio

AISC-2005 ; berkisar 0,01 sd 0,0016 atau (1/100 sd 1/6250)

UBC ; berkisar antara 0,02 sd 0,005 atau (1/200 sd 1/500)

Secara umum biasa diambil antara 0,002 sampai 0,0025

Berdasarkan SNI:1726-2012 Pasal 7.8.7 pengaruh P-delta harus diperhitungkan dengan menggunakan persamaan :

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Pengaruh P-delta dapat diabaikan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) $\leq 0,1$

Dimana :

P_x = Beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat-x (kN)

Δ = Simpangan antar lantai desain (mm)

I_e = Faktor keutamaan Gempa

V_x = Gaya geser seismic yang bekerja antara tingkat x dan x-1 (kN)

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat x (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Analisa struktur portal dilakukan setelah menghitung beban gravitasi dan beban gempa yang terjadi. Analisa dilakukan dengan menggunakan bantuan program analisa struktur STAADPro.

2.4 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Selama gempa bumi, bangunan mengalami gerakan vertikal dan horisontal. Gaya dalam arah vertikal hanya sedikit merubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur. Sedangkan struktur biasanya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai, maka dari itu pada umumnya struktur jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa horisontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan langsung menyebabkan keruntuhan/kegagalan. Maka dari itu prinsip utama dalam perancangan tahan gempa ialah meningkatkan kekuatan struktur terhadap gaya lateral.

Gempa bumi dapat melanda kapan saja, baik sekarang maupun dimasa mendatang. Oleh sebab itu perlu perencanaan struktur yang mampu tahan terhadap gempa bumi. Dengan mengetahui sejarah kegempaan pada suatu wilayah yang diperoleh dari pengamatan atau rekaman gempa yang pernah terjadi di masa lalu, tingkat risiko atau peluang terjadinya gempa pada suatu wilayah dapat diperkirakan.

Kebutuhan struktur didefinisikan sebagai berikut :

1. Pada saat gempa ringan, struktur bangunan harus tetap berperilaku elastis, yang berarti bahwa pada saat gempa elemen-elemen struktur bangunan tidak diperbolehkan mengalami kerusakan struktural maupun non-struktural.
2. Pada saat gempa sedang, struktur bangunan tidak boleh mengalami kerusakan struktural, namun diperbolehkan mengalami kerusakan yang bersifat non-struktural. Gempa sedang akan menyebabkan struktur bangunan sudah berperilaku tidak elastis, tetapi tingkat kerusakan struktur masih ringan.
3. Pada saat gempa kuat, struktur bangunan dapat mengalami kerusakan struktural yang berat, namun struktur harus tetap berdiri dan tidak boleh runtuh sehingga korban jiwa dapat dihindarkan. Gempa kuat akan menyebabkan struktur bangunan berperilaku tidak elastis, dengan kerusakan struktur yang berat tetapi masih berdiri dan dapat diperbaiki.

2.5 Sistem Ganda

Gabungan antara portal dengan dinding geser yang disebut metode struktur sistem ganda memiliki kemampuan yang tinggi dalam memikul gaya geser lantaran adanya interaksi antara keduanya. Interaksi kedua sistem tersebut mengakibatkan perilaku defleksi yang berbeda. Penjelasan pada SNI 1726-2012 pasal 7.2.5.1 sistem ganda harus memenuhi :

- a. Rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi,
- b. Rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 % dari gaya gempa desain,
- c. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proposional terhadap kekakuannya.

2.6 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem Rangka Pemikul Momen berupa gabungan dari komponen balok pada komponen horizontal dan kolom pada komponen vertikal. Sistem rangka pemikul momen pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap pada sistem strukturnya, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Rangka momen merupakan rangka dimana komponen struktur dan joint menahan gaya melalui lentur, geser, dan gaya aksial. Penentuan sistem rangka harus sesuai dengan tingkat kerawanan pada daerah struktur bangunan tersebut berada. Sistem ini dikategorikan sebagai berikut:

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB): Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 2847-2013 pasal 21.2 serta ditetapkan sebagai KDS B.
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM): Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 2847-2013 pasal 21.3 serta ditetapkan sebagai KDS C.
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK): Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 2847-2013 pasal 21.5 hingga 21.8 serta ditetapkan sebagai KDS D, E atau F.

2.7 Komponen pada Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus

Komponen struktur utama bertugas untuk menahan pembebanan yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral yang berupa beban gempa. Komponen struktur yang terdiri balok, kolom serta hubungan balok kolom harus memenuhi kriteria SNI 2847-2013 sebagai berikut:

2.7.1 Balok

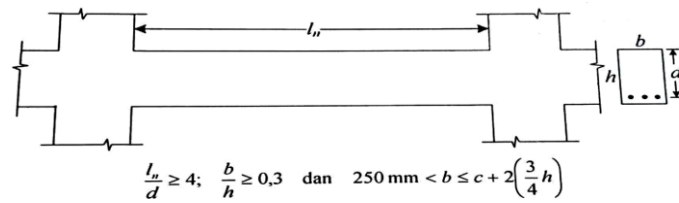
- Syarat dimensi penampang (SNI 2847:2013 pasal 21.5.1)

$$P_u \leq 0,1Agf_c'$$

$$l_n \geq 4d$$

$$b_w \geq 0,3h \text{ atau } 250 \text{ mm}$$

$$b_w \leq \text{lebar kolom atau } 3/4.h$$



Gambar 2.15 Ketentuan dimensi penampang balok

- Persyaratan tulangan lentur (SNI 2847:2013 pasal 21.5.2)

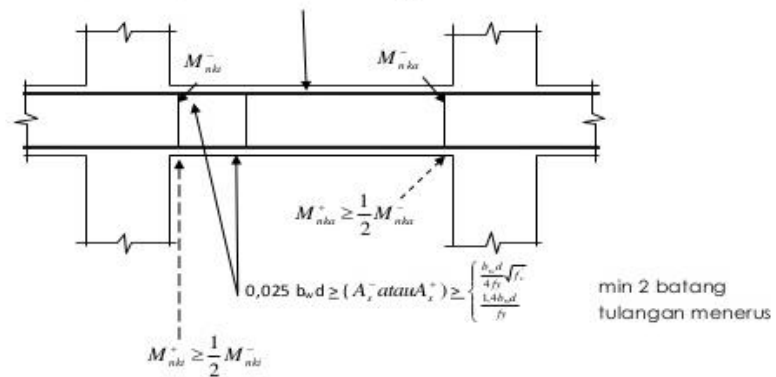
$$\left. \begin{array}{l} \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} bw \times d \\ \frac{1,4}{f_y} bw \times d \end{array} \right\} \geq A_s \geq 0,025 bw d$$

SNI:2847-2013 pasal 21.5.2.2 mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari 1/2 kuat lentur negatifnya pada muka tersebut.

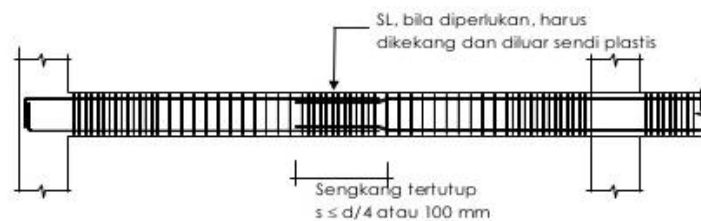
$$\phi M_n^+ \geq \frac{1}{2} \phi M_n^- \quad (\text{tumpuan kiri})$$

$$\phi M_n^- \geq \frac{1}{2} \phi M_n^+ \quad (\text{tumpuan kanan})$$

$$(M_n^+ \text{ atau } M_n^-) \text{ pada semua penampang} \geq \frac{1}{4} (M_{n, \text{maks}} \text{ diujung})$$



Gambar 2.16 Persyaratan tulangan lentur SRPMK



Gambar 2.17 Persyaratan sambungan lewatan SRPMK

- Persyaratan tulangan transversal (SNI 2847:2013 pasal 21.5.3)
 - ✓ Sengkang tertutup terletak pada daerah $2h$ dari muka tumpuan erta $2h$ pada kedua sisi dari suatu penampang, pada tempat yang diharapkan dapat terjadi leleh lentur.
 - ✓ Sengkang tertutup pertama harus dipasang $< 50\text{mm}$. Lalu jarak sengkang tidak melebihi nilai terkecil dari:
 - $d/4$
 - $6d_b$
 - 150 mm

- ✓ Sengkang pada daerah lapangan harus dipasang dengan jarak $\leq d/2$.

Menurut SNI:2847-2013 pasal 21.6.2.2. bahwa gaya geser rencana (V_e) harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum, (M_{pr}) harus dianggap bekerja pada muka tumpuan dan komponen tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya. Besarnya gaya geser dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} + \frac{q_u \times l_n}{2}$$

$$V_{ka} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} - \frac{q_u \times l_n}{2}$$

Nilai M_{pr} dapat menggunakan persamaan:

$$M_{pr} = A_s \cdot (1,25f_y) \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

dengan:

$$a = \frac{A_s \cdot (1,25f_y)}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

➤ Panjang Penyaluran Tulangan

Besarnya panjang penyaluran tulangan diatur dalam SNI:2847-2013 pasal 12.2.2, yang menyatakan bahwa panjang penyaluran harus dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \times \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

Dari SNI:2847-2013 pasal 12.2.4, maka didapatkan data sebagai berikut:

- $\Psi_t = 1,3$ (untuk tulangan atas)
- $\Psi_e = 1,0$ (untuk tulangan tanpa lapisan epoksi)
- $\Psi_s = 0,8$ (untuk tulangan D19 atau yang lebih kecil)
- $\lambda = 1,0$ (untuk beton normal)
- $c_b = 40$ mm
- $d_b = 19$ mm

2.7.2 Kolom

- Persyaratan umum (SNI 2847:2013 pasal 21.6.1)
- ✓ Ukuran penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui titik pusat geometris penampang > 300 mm.
- ✓ Perbandingan dimensi terkecil terhadap arah tegak lurus $> 0,4$.
- Persyaratan tulangan transversal (SNI 2847:2013 pasal 21.6.4)

Daerah sepanjang l_o atau daerah sendi plastis yang diukur dari muka joint tidak boleh kurang dari yang terbesar :

- h
- $1/6 (L_n)$
- 450 mm

Sedangkan luas total penampang sengkang tertutup persegi (A_{sh}) tidak kurang dari:

$$0,3 \frac{s.b.c.f'c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \right]$$

$$0,09 \frac{s.b.c.f'c}{f_{yt}}$$

Jarak tulangan transversal sepanjang panjang l_o tidak boleh melebihi nilai yang terkecil dari :

- $1/4 (h)$
- $6d_b$
- $100 \text{ mm} \leq s_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \leq 150 \text{ mm}$

Gaya geser (V_e) ditentukan menggunakan kuat momen maksimum (M_{pr}) dari beban aksial terfaktor (P_u) yang bekerja pada komponen struktur.

$$V_e = \frac{M_{prc} a + M_{pcr} b}{l_u}$$

Besarnya panjang penyaluran tulangan diatur dalam SNI:2847-2013 pasal 12.16, yang menyatakan bahwa panjang penyaluran dalam kondisi tekan harus dihitung dengan menggunakan persamaan :

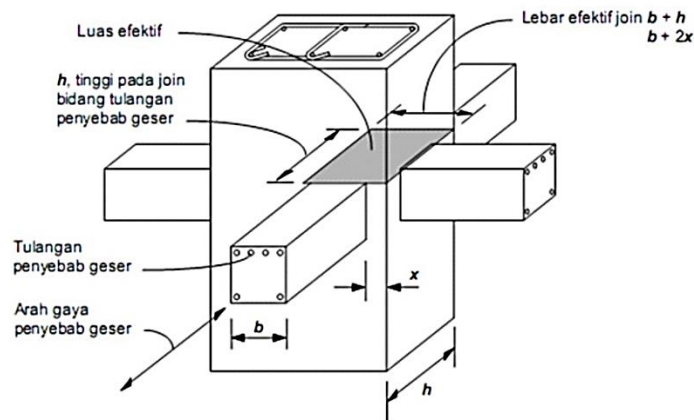
$$0,071.f_y.d_b$$

2.7.3 Hubungan Balok Kolom (HBK)

- Persyaratan umum (SNI 2847:2013 pasal 21.7.2)
 - ✓ Tulangan tarik lentur mempunyai tegangan berdasarkan $1,25f_y$.
 - ✓ Dimensi kolom $> 20d_b$ pada beton ringan.
 - ✓ Dimensi kolom $> 26d_b$ pada beton ringan.
- Persyaratan tulangan transversal (SNI 2847:2013 pasal 21.7)
 - ✓ Tulangan transversal harus dipasang $1/2$ dari yang dipasang di daerah sendi plastis kolom apabila $b_{balok} = 3/4 b_{kolom}$. Tulangan transversal ini harus dipasang mulai dari sisi terbawah balok yang merangka ke hubungan tersebut. Spasi tulangan transversal dapat diperbesar menjadi 150 mm.
- Kuat geser (SNI 2847:2013 pasal 21.7.4)

Terhadap beton normal tidak mengambil melebihi dari:

 - ✓ $1,7 \sqrt{f'_c} A_j$, yang terkekang keempat sisinya
 - ✓ $1,25 \sqrt{f'_c} A_j$, yang terkekang ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan
 - ✓ $1,0 \sqrt{f'_c} A_j$, untuk HBK lainnya



Gambar 2.18 Luas efektif hubungan balok-kolom

- Panjang penyaluran tulangan (SNI 2847:2013 pasal 21.7.5.1)
 - ✓ Yang memiliki kait standar 90° dengan tulangan tarik diameter 10 mm sampai 36 mm, maka diambil dari nilai terbesar antara:
 - $8db$
 - 150 mm , atau
 - $f_y db / (5,4\sqrt{f'_c})$
 - ✓ Tulangan diameter 10 mm sampai 36 mm tanpa kait, tidak boleh diambil lebih kecil dari:
 - $2,5ldh$ (bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm)
 - $3,25ldh$ (bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut melebihi 300 mm).

2.8 Dinding Geser

Ketika dinding beton bertulang dengan bidang datar yang sangat besar ditempatkan pada lokasi-lokasi yang cocok dan strategis, maka dinding tersebut dapat memberikan pertahanan beban horisontal yang diperlukan. Dinding seperti ini disebut dinding geser yang memberikan stabilitas lateral pada struktur dengan menahan gaya geser dan momen tekuk pada bidang datar akibat gaya lateral.

Dinding harus didesain sedemikian rupa sehingga tegangan yang disebabkan gaya lateral tidak melebihi tegangan tekan yang disebabkan oleh bangunan berat di atasnya. Biasanya digunakan untuk bangunan dengan pelat lantai datar. Dinding geser membentang pada keseluruhan jarak vertikal antar lantai. Apabila dinding ditempatkan secara hati-hati dan simetris dalam perencanaannya maka dinding sangat efisien dalam menahan beban vertikal maupun lateral. Pada arah horizontal dapat digunakan dan dipasang memanjang pada keseluruhan panjang panel dan bagian utama struktur lainnya. Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu :

1. *Bearing walls* adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi . Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.

2. *Frame walls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.

3 *Core walls* adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak dikawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.

Fungsi dinding geser pada gedung secara umum :

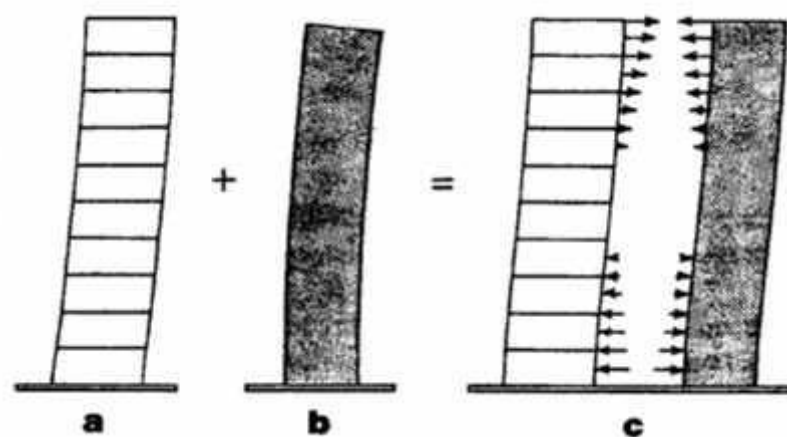
1. Kekuatan

- Dinding geser harus memberikan kekakuan lateral untuk melawan kekuatan gempa horisontal.
- Ketika dinding geser cukup kuat, maka gaya akan ditransfer ke elemen berikutnya dalam jalur beban di bawah, seperti dinding geser lainnya, lantai, pondasi dinding, lembaran atau footings.

2. Kekakuan

- Dinding geser juga memberikan kekakuan lateral untuk atap dan tiap lantai di atas dari sisi-goyangan yang berlebihan.

Semakin tinggi suatu gedung, penggunaan struktur rangka saja untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa menjadi kurang ekonomis karena akan menyebabkan dimensi struktur balok dan kolom yang dibutuhkan akan semakin besar untuk menahan gaya lateral. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur terhadap gaya lateral dapat digunakan kombinasi antara rangka kaku dengan dinding geser (*dual system*). Pada struktur kombinasi ini, dinding geser dan kolom-kolom struktur akan dihubungkan secara kaku (*rigid*) oleh balok-balok pada setiap lantai bangunan. Dengan adanya hubungan yang *rigid* antara kolom, balok, dan dinding geser akan memungkinkan terjadinya interaksi antara struktur rangka dan dinding geser secara menyeluruh pada bangunan, dimana struktur rangka dan dinding geser akan bekerja bersama-sama dalam menahan beban yang bekerja baik itu beban gravitasi maupun beban lateral. Selain itu, dengan menggunakan sistem ganda ini, maka simpangan lateral akan jauh berkurang seiring dengan peningkatan jumlah lantai struktur. Semakin tinggi suatu struktur gedung, semakin kecil simpangan yang terjadi. Besarnya simpangan keseluruhan yang terjadi pada sistem rangka kaku-dinding geser diperoleh dengan cara menggabungkan perilaku kedua elemen tersebut seperti yang terdapat pada gambar 2.13.



Gambar 2.19 Gabungan Rangka dan Dinding Geser

a. Deformasi *mode* geser untuk rangka kaku (Gambar 2.13 a)

Pada struktur rangka kaku, sudut deformasi (lendutan) paling besar terjadi pada dasar struktur dimana terjadi geser maksimum.

b. Deformasi mode lentur untuk dinding geser (Gambar 2.13 b)

Pada struktur dinding geser, sudut deformasi (lendutan) paling besar terjadi pada bagian atas bangunan sehingga sistem dinding geser memberikan kekakuan paling kecil pada bagian atas bangunan.

c. Interaksi antara rangka kaku dan dinding geser (Gambar 2.13 c)

Interaksi antara struktur rangka kaku dan dinding geser diperoleh dengan membuat superposisi *mode s* defleksi terpisah yang menghasilkan kurva S datar. Perbedaan sifat defleksi antara dinding geser dan rangka kaku menyebabkan dinding geser menahan simpangan rangka kaku pada bagian bawah, sedangkan rangka kaku akan menahan simpangan dinding geser pada bagian atas. Dengan demikian, geser akibat gaya lateral akan dipikul oleh rangka pada bagian atas bangunan dan dipikul oleh dinding geser dibagian bawah bangunan.

Dalam merencanakan sebuah dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral, karena apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral. Oleh karena itu, dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban gempa, dimana berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 14.5.3.1, Tebal dinding geser tidak boleh kurang dari $1/25$ tinggi atau panjang bentang tertumpu, yang mana yang lebih pendek, atau kurang dari 100 mm.

2.8.1 Ketentuan Dinding Geser

Apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral. Oleh sebab itu dalam merencanakan dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral. Sebab itu dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban gempa. Adapun persyaratan yang telah ditentukan dalam SNI 2847:2013 sebagai berikut:

- Persyaratan tulangan minimum $V_u > 0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$
- Maka, rasio tulangan vertikal dan horizontal, ρ_l dan $\rho_t > 0,0025$
- Pada kuat geser nominal dinding struktural tercantum dalam pasal 21.9.4.1 yang menyatakan

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

- Pada pasal 21.9.6 komponen batas diperlukan apabila tegangan tekan maksimum akibat kombinasi momen dan gaya aksial terfaktor yang bekerja pada penampang dinding geser melampaui $0,2 f'_c$. Jadi, komponen batas khusus diperlukan jika:

$$\frac{P_u}{A_g} + \left(\frac{M_u}{I} \times \frac{lw}{2} \right) > 0,2 f'_c$$